

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-218439

(43)Date of publication of application : 10.08.2001

(51)Int.Cl. H02K 29/00
 B62D 5/04
 B62D 6/00
 H02K 1/16
 H02K 3/28
 H02K 7/06
 H02K 15/06
 H02K 21/16
 H02P 6/10
 // B62D101:00
 B62D119:00
 B62D137:00

(21)Application number : 2000-089214

(71)Applicant : NSK LTD

(22)Date of filing : 28.03.2000

(72)Inventor : TAKAHASHI MINORU

(30)Priority

Priority number : 11328214 Priority date : 18.11.1999 Priority country : JP
 11333732 25.11.1999

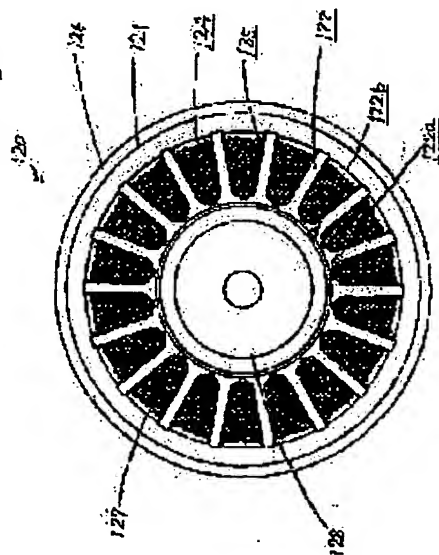
JP

(54) BRUSHLESS MOTOR, CONTROLLER FOR BRUSHLESS MOTOR AND METHOD FOR MANUFACTURING MOTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a motor-operated power steering system capable of obtaining a desired stable output torque by using a brushless motor as an assist drive source and obtaining a sense of smooth steering by largely suppressing a torque ripple and to provide a brushless motor reduced in size and cost by simplifying a winding without short circuiting the motor and without locking the motor.

SOLUTION: The brushless motor comprises polyphase coils wound in slots of a stator core by wave winding. In this case, the stator core has teeth coupled at adjacent teeth at the inner peripheral side of the teeth and having an opening at the outer peripheral side, and a yoke having a magnetic path formed at the outer peripheral side of the teeth. Thus, after the outer peripheral side of the teeth is wound, the yoke is fixed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
 examiner's decision of rejection or application converted]

Best Available Copy

registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-218439

(P 2 0 0 1 - 2 1 8 4 3 9 A)

(43) 公開日 平成13年 8 月 10 日 (2001. 8. 10)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-コ-ド (参考)
H02K 29/00		H02K 29/00	Z 3D032
B62D 5/04		B62D 5/04	3D033
6/00		6/00	5H002
H02K 1/16		H02K 1/16	A 5H019
3/28		3/28	N 5H560
審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全21頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-89214 (P 2000-89214)
(22) 出願日 平成12年 3 月 28 日 (2000. 3. 28)
(31) 優先権主張番号 特願平11-328214
(32) 優先日 平成11年11月18日 (1999. 11. 18)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)
(31) 優先権主張番号 特願平11-333732
(32) 優先日 平成11年11月25日 (1999. 11. 25)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004204
日本精工株式会社
東京都品川区大崎 1 丁目 6 番 3 号
(72) 発明者 高橋 稔
群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式
会社内
(74) 代理人 100078776
弁理士 安形 雄三 (外 1 名)

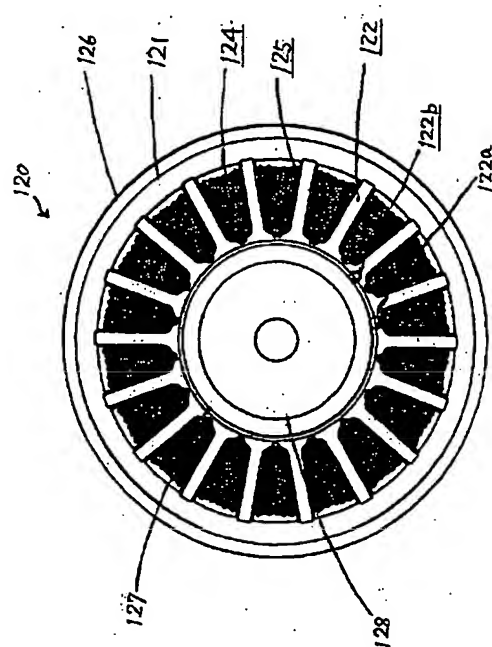
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ブラシレスモータ、ブラシレスモータの制御装置及びモータの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 アシスト駆動力源としてブラシレスモータを用いて、安定した所望の出力トルクを得ることができ、トルクリップルを大幅に抑制することができ、滑らかなステアリング操舵感を得る電動式パワーステアリング装置を提供する。モータショートやロックがなく、巻線が簡単にできて小型化、低コスト化を図ったブラシレスモータを提供する。

【解決手段】 ステータコアのスロットに多相のコイルを波巻で巻いたブラシレスモータにおいて、前記ステータコアは、ティースの内周側を隣接したティース同士で結合され外周側に開口部を持ったティース部分と、前記ティース部分の外周側で磁路を形成するヨーク部分とで構成され、前記ティース部分の外周側から巻線をした後にヨーク部分を固着したものである。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 操舵系に対して操舵補助力を発生する電動式パワーステアリング装置のブラシレスモータにおいて、外周面に永久磁石が固定された回転自在のロータと、前記ロータの外周面を包囲する複数相の励磁コイルと、円筒形のヨーク部の内周面に励磁コイルを保持する複数個のティースを形成して成るステータコアとを備え、前記励磁コイルが極に対応するコイル毎にループを形成しない波巻で前記ステータコアに巻かれていることを特徴とするブラシレスモータ。

【請求項 2】 前記励磁コイルが矩形波で駆動制御される請求項 1 に記載のブラシレスモータ。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の前記ブラシレスモータの各励磁相に供給する励磁信号を生成する駆動手段と、各励磁相毎に前記励磁信号の方向決定及びオン・オフの切替えを行う制御手段とを備え、前記制御手段は、前記切替え時に切替えられる励磁信号の変化率を制御するようになっているブラシレスモータの制御装置。

【請求項 4】 前記駆動手段は、前記励磁信号として前記ブラシレスモータの複数の励磁コイルに供給する励磁電流を生成する駆動回路を含み、前記制御手段は、前記励磁電流の切替え時に前記励磁電流が立ち上がる励磁相と立ち下がる励磁相の電流変化率を一致させるか又は同程度にする駆動信号を前記駆動回路に供給するようになっている請求項 3 に記載のブラシレスモータの制御装置。

【請求項 5】 前記駆動手段は、前記励磁電流が切替えられない励磁相に対する第 1 の PWM 信号と、前記励磁電流が立ち上がる励磁相及び／又は立ち下がる励磁相に対する第 2 の PWM 信号とを合成演算することにより、前記励磁信号を生成するようになっている請求項 4 に記載のブラシレスモータの制御装置。

【請求項 6】 ブラシレスモータのステータコアをヨーク部分及びティース部分で構成し、前記ティース部分は、その内周側を隣接したティース同士で結合した一体構造となっており、前記ティース部分の内側をロータが回転するようになっていることを特徴とするブラシレスモータ。

【請求項 7】 前記ティース部分の内周面は凹凸がなく、概ね真円である請求項 6 に記載のブラシレスモータ。

【請求項 8】 前記ティース部分のスロット開口部に鍍部が設けられている請求項 6 に記載のブラシレスモータ。

【請求項 9】 前記ヨーク部分がモータ又は電動式パワーステアリング装置のハウジングを構成している請求項 6 に記載のブラシレスモータ。

【請求項 10】 ステータコアのスロットに多相のコイルを波巻で巻いたブラシレスモータにおいて、前記ステータコアは、ティースの内周側を隣接したティース同士

で結合され外周側に開口部を持ったティース部分と、前記ティース部分の外周側で磁路を形成するヨーク部分とで構成され、前記ティース部分の外周側から巻線をした後にヨーク部分を固着したことを特徴とするブラシレスモータ。

【請求項 11】 各コイルのコイルエンドの引出し位置の一端が、隣接する他相のコイルエンドに対して、前記ステータコアの内周側に配置され、前記各コイルのコイルエンドの引出し位置の他端が、隣接する他相のコイル

10

エンドに対して前記ステータコアの外周側に配置されていることを特徴とする請求項 10 に記載のブラシレスモータ。

【請求項 12】 操舵系に対して操舵補助力を発生する請求項 6 又は 10 又は 11 に記載のブラシレスモータ。

【請求項 13】 ステータのスロットに多相のコイルを波巻で巻いたモータの製造方法において、前記各コイルのコイルエンドの引出し位置の一端を、隣接する他相のコイルエンドに対して前記ステータの内周側に配置すると共に、前記各コイルエンドの引出し位置の他端を、隣接する他相のコイルエンドに対して前記ステータの外周側に配置するときに、全ての相の前記コイルを波巻に成形した後に、当該成形コイルを前記ステータのスロットに順次又は同時に挿入するようにしたことを特徴とするモータの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自動車の操舵力を低減させる電動式パワーステアリング装置に最適なブラシレスモータに関し、特にモータショートやロックがなく、巻線が簡単にできて小型化、低コスト化を図ったブラシレスモータに関する。また、本発明は、コイルの巻き方を改良することにより、ブラシレスモータにおけるインダクタンス特性を改善したブラシレスモータ及びモータの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、電動式パワーステアリング装置のアシスト駆動源としてはブラシ付モータが一般的に使用されており、さらにまた、操舵における慣性の低減、モータの耐久性の向上等のためにブラシレスモータが使用

40

されている。
【0003】モータのコイルの巻線方法としては、重ね巻と波巻とがある。重ね巻でコイルが巻かれたモータには、1)巻線の成形、ステータコアへのインサートが簡単で製造しやすく、2)小型化しやすく、3)巻線構造が簡単でコイルがばらけ難く、絶縁に対する信頼性も高い、といった特性がある。このことより、電動式パワーステアリング装置のアシスト駆動源としてのブラシレスモータでは、一般に重ね巻が使用されていた。

【0004】一方、波巻でコイルが巻かれたモータには、コイルがループ状になっていないので、重ね巻のモ

50

ータよりもインダクタンスが小さく、駆動電流の変化に対するモータ出力の応答性がよい、電流変動が小さい、などの利点がある。

【0005】従来のモータにおけるコイルの波巻方法としては、特開平7-163074号公報に記載されている方法がある。この公報に示された波巻方法は、固定子コアのスロットに各相のコイルを波巻で挿入する多相モータの固定子巻線方法であって、各相のコイルを構成する導体を夫々複数に分けて分束コイルを形成し、これらの分束コイルを各相並行に順次スロットに挿入して固定子巻線を形成するものである。

【0006】ところで、従来の電動パワーステアリング装置の動力源としては、例えば特開平9-149616号公報で示されるようなブラシレスモータが用いられている。図19はそのブラシレスモータの径方向断面図を示しており、ロータ200の外周側にステータコア201が配置され、ステータコア201の内周側より開口したスロットにコイル202が巻回され、ステータコア201の外周はモータハウジング203となっている。つまり、このブラシレスモータのステータコア201は、内周側（ロータ側）にスロット開口部があり、この開口部を通してスロットにコイル202を巻回している。

【0007】一方、電動パワーステアリング装置で用いるモータはショート（短絡）やロックが発生すると操舵不能になってしまうので、モータにマグネット飛散防止のカバーを付けたり、コイルを絶縁剤でコーティングしたりして高い信頼性を持たせるようにしている。また、モータのショートやロックが発生しても、車両への影響を防ぐために、特開平10-243687号公報に示すようにモータのコイルの中心にリレーを設けたり、実用新案登録第2585705号に示すように、モータの出力軸にクラッチを設けているものがある。即ち、特開平10-243687号公報では、ブラシレスモータの駆動回路部は複数のスイッチング素子から構成されるブリッジ回路を備え、ブリッジ回路の入力端子に電源が接続され、ブリッジ回路の出力端子にブラシレスモータが接続され、ブラシレスモータの中性点に閉ループ開放用のスイッチ手段が接続されている。

【0008】なお、電動パワーステアリング装置用のモータではないが、分割コアを用いたブラシレスモータは例えば特開平11-234928号公報にも開示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来のブラシレスモータのようにスロット開口部が内周側（ロータ側）にあると、コイルをスロットに挿入（巻回）するときコイルをロータ側から治具などを用いて押し込むことになるので、このコイル挿入時にコイルに傷が付き易い。コイルの傷は、モータショートの原因になる。

【0010】また、電動パワーステアリング装置のモータショートは、操舵時にモータの発電制動が発生してステアリングが重くなり、最悪の場合には操舵不能となってしまうので、絶対にあってはならないことである。このため、コイル間に絶縁紙を挟み込んだり、コイルを絶縁剤でコーティングして絶縁性を高めることによって、ショートに対するモータの信頼性を上げるようにしている。従って、モータ製造上において付随的な作業工程が生じ、コストダウンの面で問題となっていた。また、ショートが発生した場合はリレーをオフしたり、クラッチをオフして発電制動が働くのを防いでいる。この場合においてもリレーやクラッチその他の機器が必要となり、コストダウンの面で問題となっていた。

【0011】また、ステータの内周にはスロット開口部による凹凸が形成されるので、メンテナンスの不備などでモータ内に異物が入り込むと、その異物がステータの凹部に引っ掛かり、更にロータとの間の隙間に挟まれ、モータが回転不能になってしまうことが可能性としてあった。

【0012】一方、従来の電動式パワーステアリング装置では、電動式パワーステアリング装置のアシスト駆動源に使用するモータにトルクリップルがあると、そのリップルがアシストトルクの変動になりステアリング操舵の滑らかさを損ない、運転者に違和感を感じさせてしまうという問題点があった。

【0013】電動式パワーステアリング装置のアシスト駆動源のモータは、運転者が操舵するステアリングの操舵速度に応じ、ほとんど動かない状態（ステアリングを保舵した状態）から高速で回転した状態（急操舵時）まで使用される。その速度全域においてトルクリップルが小さく、また、安定した出力（ステアリングに追従した回転数、操舵力に見合ったトルク）が求められている。

【0014】また、ブラシレスモータを矩形波駆動で制御する電動式パワーステアリング装置では、小型で、効率良く安定した出力を得るために、モータを多相或多極にしている。多相或多極のモータは、高速で回転させると、転流（励磁相を切替えること）から次の転流までの時間が極めて短く、インダクタンスの大きいモータでは、電氣的定数が大きく電流の立ち上がりが遅いので、電流が十分に立ち上がる前に次の転流の時期がきてしまい、電流が狙い通り流れないためにモータ出力が不足し安定しないという問題点があった。なお、トルクは電流に比例するので、電流が流れないとトルクもその分小さくなるという問題点となる。

【0015】この問題点について図面を参照して具体的に説明する。従来の電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータの巻線展開の代表例を図10に示す。図11は、他の従来の電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータの巻線展開の代表例である。これら

は、どちらも3相6極の重ね巻の例である。各相毎に1極につき励磁コイル76をループ状に形成し、それを数回巻き重ねている。かかる従来のブラシレスモータは、外周面に永久磁石が固定された回転自在のロータと、このロータの外周面を包囲する複数相の励磁コイル76と、円筒形のヨーク部の内周面に励磁コイル76を保持する複数個のティース70を形成して成るステータコアとを備えるものである。

【0016】電動パワーステアリング装置のアシスト動力源に使用するモータは、操舵に必要なトルクと回転速度を共に確保した大きな出力が必要である。12Vバッテリーを電源としている自動車で、この出力を得るためには、当然大きな電流が必要となる。

【0017】また、出力が大きいモータでも、高回転型のトルク定数の小さいモータであれば、コイルの導体数、つまりコイルのターン数は比較的少ないが、電動式パワーステアリング装置の場合、減速ギア比を大きくして、トルクを確保しようとする、減速部のスペースが大きくなり、また、モータ慣性によってステアリング操舵フィーリングが悪化するといった問題があり、減速比を著しく大きくすることができない。つまり、電動パワーステアリング装置のモータは、トルク定数は大きく、かつ、大きな電流で使用する。

【0018】このため、電動式パワーステアリング装置のモータは、コイルの導体数、つまりコイルのターン数が多く、しかも抵抗は小さい構成になっている。

【0019】具体的には、1極当たりのコイル導体数は20ターン以上になっており、しかも抵抗を小さくするために太い線を巻いたり、数本の束ねたコイルを巻いている。

【0020】このようなモータにおける1つの相のインダクタンス L は、概ね励磁コイル76の巻数 N の2乗に比例する。電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータは、巻数が多いので、インダクタンスは大きい。インダクタンスには自己インダクタンスと相互インダクタンスがあるが、このブラシレスモータは自己インダクタンスが支配的であり、1相の励磁コイルで見るとソレノイドと同様な構成であるので、インダクタンス L は下記の一般式(1)で示すことができる。

$$【0021】 L = \mu \cdot S \cdot N^2 / l \quad \dots (1)$$

ここで、 S はティース70の断面積であり、 l はティース70の長さであり、 μ は、ティース70の透磁率である。

$$【0022】 \text{電気的時定数 } \tau \text{ は、} \\ \tau = L / R \quad \dots (2)$$

で示される。ここで、 R は励磁コイル76の抵抗値である。

【0023】このブラシレスモータの1相当りのインダクタンスは例えば300 μ H、コイル抵抗は0.05オーム程度であり、電気時定数 τ は6ミリ秒程度である。

また、本例のブラシレスモータは3相6極であるので1回転に18回の転流があり(3相 \times 6極=18)、このモータを1000rpmで回転させると3.3ミリ秒に1回転する($1 / \{ (1000 / 60) \times 18 \} = 0.0033$)。

【0024】つまり、ブラシレスモータの電気的時定数 τ (6ミリ秒程度)よりも転流時間(3ミリ秒程度)の方が短いことになる。電気的時定数 τ は電流の最終値の63%になる時間なので、その電気的時定数 τ の値よりも短時間に転流すると、電流が本来の流れる最終値に対して僅かしか流れないことになる。

【0025】さらにまた、ブラシレスモータを矩形波駆動で制御する電動式パワーステアリング装置では、転流時に立ち上がる励磁相(ON相)と立ち下がる励磁相(OFF相)の相電流が一致していないと、モータに流れる全相電流が変動するのでトルクリップルの原因となる。これに対しては、転流時の相電流の電流変化率を制御することにより、トルクリップルを大幅に抑制できるが、インダクタンスの大きいブラシレスモータは電流の立ち上がりが遅く、高速で回転した時は転流時間が短く制御しきれないという問題点があった。図12は、従来の電動式パワーステアリング装置用ブラシレスモータの励磁電流の転流時における状態を示す波形図である。実線が各相の実際の電流値であり、点線が本来流れるべき各相の電流値である。この図に示されているように、従来のブラシレスモータでは、電流が本来の流れる最終値に対して僅かしか流れないと共に、転流時に立ち上がる励磁相(ON相)と立ち下がる励磁相(OFF相)の相電流が一致していない。

【0026】さらにまた、上記公報に示されたモータにおけるコイルの波巻方法では、1つの相を所定のターン数で巻き、1つの相が巻き終わると、次の相を巻くというように、各相毎にコイルを巻いている。このように各相毎にコイルを巻くと、1つのコイルと他の1つのコイルとの渡し部分であるコイルエンドの形状は、図26に示すように、最初に巻いた相のコイル375aがステータスロット372の奥(ステータコア374の外周側)に、最後に巻いた相のコイル375cがスロット開口部372a(ステータコア374の内周側)に位置することになる。なお、コイル375bは2番目に巻いたコイルである。

【0027】このように各相ステータスロット372におけるコイル375の径方向位置が異なるため、各相によりコイルエンド371の長さにバラツキが生じてしまい、また、ステータスロット372内の位置によって磁束の通り易さにもバラツキがあるため、コイル375の位置によってインダクタンスが異なっていた。つまり、ステータスロット372内でのコイル375(375a, 375b, 375c...)の位置に偏りがあるので、各相の間でインダクタンスにアンバランスが生じてい

た。

【 0 0 2 8 】 このアンバランスが原因で、従来のモータにおけるコイルの波巻方法では、電流変動やトルクリップルが大きくなるという問題点があった。波巻でコイルを巻いたモータは、元来インダクタンスが小さいので、相間においてインダクタンスにアンバランスがあると、それが電流変動やトルクリップルに大きく影響してしまう欠点がある。

【 0 0 2 9 】 本発明は上述のような事情からなされたものであり、本発明の第 1 の目的は、アシスト駆動力源となるブラシレスモータを矩形波駆動で制御する電動式パワーステアリング装置において、ブラシレスモータが低速回転であるか高速回転であるかに拘わらず安定した所望の出力トルクを得ることができると共に、ブラシレスモータを高速で回転させたときにおいても、トルクリップルを大幅に抑制することができ、滑らかなステアリング操舵感を得ることができる電動式パワーステアリング装置に最適なブラシレスモータ及びブラシレスモータの制御装置を提供することにある。

【 0 0 3 0 】 また、本発明の第 2 の目的は、モータショートやロックがなく、巻線が簡単にできて小型化、低コスト化を図った電動パワーステアリング装置に最適なブラシレスモータを提供することにある。さらに、本発明の第 3 の目的は、各相のコイルを波巻で巻いたモータにおける各相のインダクタンスを均等にして、電流変動やトルクリップルが小さいブラシレスモータ及びモータの製造方法を提供することにある。

【 0 0 3 1 】

【課題を解決するための手段】 本発明は、操舵系に対して操舵補助力を発生する電動式パワーステアリング装置のブラシレスモータに関し、本発明の上記第 1 の目的は、前記ブラシレスモータが、外周面に永久磁石が固定された回転自在のロータと、前記ロータの外周面を包囲する複数相の励磁コイルと、円筒形のヨーク部の内周面に励磁コイルを保持する複数個のティースを形成して成るステータコア（巻線溝付固定子鉄心）とを設け、前記励磁コイルを極に対応するコイル毎にループを形成しない波巻で前記ステータコアに巻くことによって達成される。

【 0 0 3 2 】 また、本発明の上記第 1 の目的は、前記ブラシレスモータを、矩形波で駆動制御することによって、更に前記ブラシレスモータが、当該ブラシレスモータの各励磁相に供給する励磁信号を生成する駆動手段と、各励磁相毎に前記励磁信号の方向決定及びオン・オフの切替えを行う制御手段とを設け、前記制御手段が、前記切替え時に切替えられる励磁信号の変化率を制御することによって、より効果的に達成される。

【 0 0 3 3 】 更に、本発明の上記第 1 の目的は、前記駆動手段が、前記励磁信号として前記ブラシレスモータの複数の励磁コイルに供給する励磁電流を生成する駆動回

路を含み、前記制御手段が、前記励磁電流の切替え時に前記励磁電流が立ち上がる励磁相と立ち下がる励磁相の電流変化率を一致させるか又は同程度にする駆動信号を前記駆動回路に供給することによって、更に前記駆動手段が、前記励磁電流が切り替えられない励磁相に対する第 1 の PWM 信号と、前記励磁電流が立ち上がる励磁相及び／又は立ち下がる励磁相に対する第 2 の PWM 信号とを合成演算することにより、前記励磁信号を生成することによって、より効果的に達成される。

【 0 0 3 4 】 また、本発明の上記第 2 の目的は、ブラシレスモータのステータコアをヨーク部分及びティース部分で構成し、前記ティース部分を、その内周側を隣接したティース同士で結合した一体構造とし、前記ティース部分の内側をロータが回転するようにすることによって達成される。更に、前記ティース部分の内周面には凹凸がなく概ね真円とし、又は前記ティース部分のスロット開口部に鍔部を設けることによって、より効果的に達成することができる。また、前記ヨーク部分がモータ又は電動式パワーステアリング装置のハウジングを構成していても良い。

【 0 0 3 5 】 また、本発明は、ステータコアのスロットに多相のコイルを波巻で巻いたブラシレスモータに関するもので、本発明の上記第 3 の目的は、前記ステータコアは、ティースの内周側を隣接したティース同士で結合され外周側に開口部を持ったティース部分と、前記ティース部分の外周側で磁路を形成するヨーク部分とで構成され、前記ティース部分の外周側から巻線をした後にヨーク部分を固着したことによって達成される。

【 0 0 3 6 】 また、本発明の上記第 3 目的は、各コイルのコイルエンドの引出し位置の一端が、隣接する他相のコイルエンドに対して、前記ステータコアの内周側に配置され、前記各コイルのコイルエンドの引出し位置の他端が、隣接する他相のコイルエンドに対して前記ステータコアの外周側に配置されていることによって、より効果的に達成され、前記ブラシレスモータを、操舵系に対して操舵補助力を発生するものとして用いることで、より効果的に達成される。

【 0 0 3 7 】 また、本発明は、ステータのスロットに多相のコイルを波巻で巻いたモータの製造方法に関するもので、本発明の上記第 3 の目的は、前記各コイルのコイルエンドの引出し位置の一端を、隣接する他相のコイルエンドに対して前記ステータの内周側に配置すると共に、前記各コイルエンドの引出し位置の他端を、隣接する他相のコイルエンドに対して前記ステータの外周側に配置するときに、全ての相の前記コイルを波巻に成形した後に、当該成形コイルを前記ステータのスロットに順次又は同時に挿入するようにしたことによって達成される。

【 0 0 3 8 】

【発明の実施の形態】 本発明の電動式パワーステアリン

グ装置のアシスト駆動源となるブラシレスモータにおいて、多相の励磁コイルを、極毎にループを成形しない波巻で巻いたので、ブラシレスモータのインダクタンスを小さくすることができ、ブラシレスモータが低速回転であるか高速回転であるかに拘わらず安定した所望の出力トルクを得ることができると共に、ブラシレスモータを高速で回転させたときにおいても、トルクリップルを大幅に抑制することができ、電磁音、磁歪音及び作動音も低減することができ、滑らかなステアリング操舵感を得ることができる。

【0039】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明の実施例に係る電動式パワーステアリング装置（コラムタイプ）の概略構成図である。ステアリングホイール1に作用された操舵力は、入力軸2aと出力軸2bとから構成されたステアリングシャフト2に伝達される。この入力軸2aの一端はステアリングホイール1に連結され、他端はトルクセンサ3を介して出力軸2bの一端に連結されている。そして、出力軸2bに伝達された操舵力は、ユニバーサルジョイント4を介してロアシャフト5に伝達され、さらに、ユニバーサルジョイント6を介してピニオンシャフト7に伝達される。操舵力は、さらにステアリングギヤ8を介してタイロッド9に伝達されて転舵輪を転舵させる。ステアリングギヤ8は、ピニオン8aとラック8bとを有するラックアンドピニオン形に構成され、ピニオン8aに伝達された回転運動をラック8bで直進運動に変換している。

【0040】ステアリングシャフト2の出力軸2bには、補助操舵力（アシスト力）を出力軸2bに伝達する減速ギヤ10が連結されており、減速ギヤ10には、補助操舵力を発生する、ブラシレスモータ12の出力軸が連結されている。トルクセンサ3は、ステアリングホイール1に配設されて入力軸2aに伝達された操舵トルクを検出するものであり、例えば、操舵トルクを入力軸2a及び出力軸2b間に介挿したトーションバーの捩じれ角変位に変換し、この捩じれ角変位をポテンショメータで検出するように構成され、ドライバがステアリングホイール1を操舵することによって、ステアリングシャフト2に生じる捩じれの大きさと方向に応じたアナログ電圧から成るトルク検出信号TVを出力する。そして、トルクセンサ3は、例えばステアリングホイール1が中立状態にある場合には、所定の中立電圧V0をトルク検出信号TVとして出力し、これよりステアリングホイール1を右切りするとそのときの操舵トルクに応じて中立電圧V0より増加する電圧を、左切りするとそのときの操舵トルクに応じて中立電圧V0より減少する電圧を出力するようになっている。

【0041】コントローラ13はブラシレスモータ12を駆動制御し、操舵系への操舵補助力の制御を行うコントローラであって、車載のバッテリー16から電源供給さ

れることによって作動するようになっている。そして、バッテリー16の負極は接地され、その正極はエンジン始動を行うイグニッションスイッチ14及びヒューズ15aを介してコントローラ13に接続されると共に、ヒューズ15bを介してコントローラ13に直接接続されており、ヒューズ15bを介して供給される電源は、例えばメモリバックアップ用に使用される。そして、コントローラ13はトルクセンサ3からのトルク検出信号TVと、例えば変速機の出力軸に配設された車速センサ17からの車速検出信号VPとに基づきブラシレスモータ12を駆動制御する。

【0042】図2は、本発明の実施例に係る電動式パワーステアリング装置のモータの構成（コラムタイプ）を示す断面図である。ブラシレスモータ12は、円筒形のハウジング22と、このハウジング22の軸心に沿って配設され、軸受23a及び23bによって回転自在の回転軸24に固定された永久磁石25と、この永久磁石25を包囲するようにハウジング22内周面に固定され、且つ、3相の励磁コイル26a、26b及び26cが巻き付けられたステータ26とから構成されており、回転軸24及び永久磁石25によって回転自在のロータ27が形成されている。

【0043】一方、ロータ27を構成する永久磁石25は、例えばS極及びN極がそれぞれ3極ずつ、計6極が周方向に等間隔に着磁されている。ここで、この場合にはS極及びN極が3極ずつ、計6極に着磁された永久磁石25を適用しているが、S極及びN極が周方向に交互に且つ等間隔に着磁されているならば、S極及びN極の2極でも良く、また、複数極でもよい。

【0044】図3は、本発明の実施例に係る電動式パワーステアリング装置の他の構成（ラック同軸タイプ）を示す断面図である。

【0045】本電動式パワーステアリング装置において、ステアリングギアボックス54は、車幅方向に延びるラック軸55が左右に貫通していて、ロアステアリングシャフト53Cのピニオンとラック軸55のラックとが噛み合っている。また、ラック軸55の左右に延びる両端部には、ボールジョイント56A、56Bを介してタイロッド57A、57Bが連結され、タイロッド57A、57Bの図示しない外端側は、図示しない転舵輪を回転自在に支持するナックルに、転舵力伝達可能に結合されている。なお、ラック軸55の両端部とタイロッド57A、57Bとの間には、それぞれダストブーツ55A、55Bが外嵌して、これにより、ステアリングギアボックス54内やハウジング59内にゴミ等が入り込むことを防止している。

【0046】ラック軸55は、図示しない車体にブラケット58A、58Bを介して固定された円筒状のハウジング59内を挿通している。具体的には、ハウジング59は、ステアリングギアボックス54に近い側から、そ

のステアリングギアボックス54に結合した連結部59Aと、比較的肉厚の円筒部59Bと、この円筒部59Bの外周面にかしめ止めされた比較的肉薄の円筒部59Cと、この円筒部59Cの端部に螺合して固定される予圧部材59Dとから構成されていて、連結部59A、予圧部材59Dのそれぞれがブラケット58A、58Bを介して車体に固定されている。

【0047】これらのうち、比較的肉薄の円筒部59Cは、円筒部59Bに固定されて比較的長く軸方向に延びる大径部59aと、予圧部材59Dが螺合される小径部59bと、大径部59a及び小径部59b間を連結するテーパ部59cとから構成されている。そして、ハウジング59の内側には、ラック軸55を非接触に且つ同軸に包囲するように円筒状の回転軸60Aが配設され、この回転軸60Aの外周面には円筒状の永久磁石60Bが固定されている。この永久磁石60Bは、S極及びN極が周方向に交互に且つ等間隔に着磁された磁石であって、これら回転軸60A及び永久磁石60Bによって回転自在のロータ60が構成されている。

【0048】図4はコントローラ13の構成を示すブロック図であり、コントローラ13は、例えば制御回路61、FETゲート駆動回路62、モータ駆動回路64、電流検出回路66及びロータ位置検出回路68とから構成されている。

【0049】制御回路61は、例えばマイクロコンピュータ等で構成され、少なくとも外部接続機器との入出力処理を行うインタフェース部と、ROM、RAM等の記憶部とを備えている。そして、トルクセンサ3からのアナログ電圧から成るトルク検出信号TVに対して、所定の中立電圧V0よりも高いか否かによってトルクの発生方向を検出し所定の処理を行ってトルク検出値Tを求め、また、車速センサ17からの出力軸の回転に応じたパルス信号から成る車速検出信号VPをもとに、単位時間当りのパルス数を積算して車速検出値Vを算出する。そして、これら検出値T及びVPに基づいて、例えばPID制御（比例・積分・微分）によりブラシレスモータ12に供給するモータ駆動信号SMを算出し、このモータ駆動信号SMに基づいてPWM（Pulse Width Modulation）信号を形成し、このPWM信号に基づいてパルス幅変調信号PWMを形成してFETゲート駆動回路62に出力する。

【0050】FETゲート駆動回路62は、例えばマルチプレクサ等で構成され、制御回路61からのパルス幅変調信号PWM及び方向信号と、ロータ位置検出回路68からの上段側ゲート信号Ga1～Gc1及び下段側ゲート信号Ga2～Gc2を入力し、方向信号が正回転の場合にはゲート信号Ga1～Gc2で指定されたモータ駆動回路64の対応するトランジスタのゲート端子に、パルス幅変調信号PWMが“HIGH”である間所定の電圧供給を行い、方向信号が逆回転の場合には、上段側

ゲート信号Ga1～Gc1を下段側ゲート信号、下段側ゲート信号Ga2～Gc2を上段側ゲート信号として処理し、それぞれ対応するトランジスタのゲート端子に、パルス幅変調信号PWMが“HIGH”である間所定の電圧供給を行う。

【0051】電流検出回路66は、例えば電流検出抵抗を有し、この電流検出抵抗の両端に発生した電圧を増幅すると共にノイズ除去し、モータ電流検出信号Iとして制御回路61に出力する。電流検出回路66では、モータ電流検出信号Iの実効値が得られるよう、それぞれの信号に対し十分なフィルタ処理を行っているものとする。モータ駆動回路64は、6個の電界効果トランジスタ（FET）Ta1、Tb1、Tc1、Ta2、Tb2、Tc2から構成されている。これらFETTa1～Tc2は、Ta1とTa2、Tb1とTb2というようにに対応する一対のFETが直列に接続され、これら直列に接続された直列回路のそれぞれが電源の両端子間に並列に配設されると共に、直列関係にあるFETの接続部分が、各励磁コイル26a～26cの外端（スター結線の中心側とは逆側）に導通されている。

【0052】そして、各FETTa1～Tc2のゲート電圧が、上述した位相検出素子31の出力に基づいてFETゲート駆動回路62によって制御されるようになされている。モータ駆動回路64での各励磁コイル26a～26cへの励磁電流の方向及び大きさは、具体的には図5に示すようになる。ここで、図5においてU相が励磁コイル26aに対応し、V相が励磁コイル26bに対応し、というように各相が各励磁コイルに対応し、W相が励磁コイル26eに対応している。

【0053】これによって、図6及び図7に示す本発明の巻線展開図において、上方に向かう電流（図5におけるプラスの相）及び下方に向かう電流（図5におけるマイナスの相）が流れることから、N極及びS極が発生する。よって、ロータ27の永久磁石のN又はS極と励磁コイル26に発生したN又はS極との間の磁気吸引力及び反発力によりロータ27が回転する。

【0054】本実施例に係る電動式パワーステアリング装置のアシスト駆動源となるブラシレスモータの巻線の実施例に係る展開図を、図6から図8に示す。図6は、本発明の第1の実施例に係るブラシレスモータの巻線展開図である。図7は、本発明の第2の実施例に係るブラシレスモータの巻線展開図である。図8は、本発明の第3の実施例に係るブラシレスモータの巻線展開図である。

【0055】図6及び図7はそれぞれ3相6極のブラシレスモータの巻線の例である。1つの励磁コイル26（U相）の巻線は、巻線溝aを通し、相数分の溝ピッチを離れた巻線溝bを通してティース70を往復した後、同ピッチで次の巻線溝cを通るように巻いていき、ステータ26を1周して元の巻線溝aに戻るようには巻いてい

る。その次に、更に同じ軌跡を通り、同様にステータ 26 を 1 周して元の巻線溝 a に励磁コイル 26 の線に戻す。このような巻線を繰り返して、励磁コイル 26 の導体数を所定の数にしている。

【0056】励磁コイル 26 は 1 本の線材を巻いたものでも良いし、数本の線材を束ねたものでよい。本ブラシレスモータでは、図 6～図 8 に示すように励磁コイル 26 をループ状に成形していないので、当該モータのインダクタンスに影響する励磁コイルのターン数は 0 であり、本ブラシレスモータの自己インダクタンスは極めて小さい。また、本ブラシレスモータでは、図 10 又は図 11 に示すような従来の重ね巻と同じ導体数にしている

ので、励磁コイルの電気抵抗は重ね巻とほぼ同じであり、インダクタンスだけを小さくしている。

【0057】例えば、図 6 及び図 7 に示すように巻いた

ブラシレスモータの 1 相当りのインダクタンスは $80 \mu\text{H}$ 以下、抵抗は 0.05 オーム程度であるので、電気時定数 τ は、 $\tau = L/R = 80 \mu\text{H} / 0.05 \text{ オーム} = 1.6 \text{ ミリ秒}$ 以下になる。

【0058】本ブラシレスモータは 3 相 6 極であるので、1 回転に 18 回の転流があり（3 相 \times 6 極 = 18）、このモータを 1000 rpm で回転させると 3.3 ミリ秒に 1 回転流する（ $1 / \{ (1000 / 60) \times 18 \} = 0.0033$ ）。

【0059】このことにより、本ブラシレスモータは、

高速で回転しているときでも転流期間（約 3 ミリ秒）よりも電気的時定数 τ （1.6 ミリ秒）が小さく、励磁電流を充分安定して流すことができる。

【0060】次に、他の実施例に係る電動式パワーステアリング装置について、以下に説明する。アシスト駆動源となるブラシレスモータの駆動制御において、転流時の相電流の電流変化率を制御して、励磁電流の切替え時に励磁電流の立ち上がる相と立ち下がる相の電流変化率を一致させることにより、そのブラシレスモータのトルクリップルを大幅に抑制できる。

【0061】具体例を、図 4 に示すコントローラ 13 を参照して説明する。FET ゲート駆動回路 62 は、ブラシレスモータ 35 の各励磁相 a～c に供給する励磁信号を生成する。制御回路 61 は FET ゲート駆動回路 62 に対し、励磁電流の切替え時に励磁電流の立ち上がる相と立ち下がる相の電流変化率を一致させるか又は同程度にする駆動信号を供給する。

【0062】これは、ブラシレスモータ 35 が回転するとモータコイルに逆起電力が発生し、電流が流れ難くなり、OFF 相は早く電流が停止し、ON 相は電流の立ち上がりが遅れるといった現象が起こるので、これを制御的に補正することである。現実的には、ブラシレスモータ 35 の印可電圧に余裕がないので、ON 相の電流の立ち上がりは早く立ち上げることはできない。OFF 相の電流の立ち下げを遅らすことで、相電流を一致させてい

る。

【0063】ここで、ブラシレスモータ 35 のインダクタンスが大きいと、ON 相の電流の立ち上がりが遅くなり、OFF 相にその間通電することになる。いつまでも電流を流し続けると次の転流時期になってしまい、本来の励磁区間から大幅に逸脱し好ましくない。

【0064】本ブラシレスモータでは、インダクタンスが従来のブラシレスモータのものより小さいので、高速回転でも、図 9 に示すように、ON 相と OFF 相の相電流を一致させることができ、トルクリップルを抑制できる。

【0065】上述の実施例では 3 相 6 極のブラシレスモータについて説明したが、本発明に係るブラシレスモータは 3 相に限定されるものではなく、また、極数も 6 極に限定されるものではない。図 8 の巻線展開図で示すように、5 相 4 極のブラシレスモータでも上述の実施例と同様の作用及び効果がある。また、本発明に係る電動式パワーステアリング装置は、図 3 に示すような B/S ラックタイプのブラシレスモータはもちろん、図 2 に示すようなコラムタイプのブラシレスモータにも上述の実施例と同様の作用及び効果がある。

【0066】また、電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータは下記の特徴があり、コイルをループ状に成形していない波巻は製造しやすく信頼性も問題ない。

【0067】1. モータの外径（ステータコアの内径）が大きく（特に B/S ラックタイプ）、巻線が成形しやすい。

【0068】2. 巻線のターン数が多く、重ね巻のステータコアを流用でき設計の自由度が大きく、重ね巻と同様に小型化しやすい。

【0069】3. 電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータは、モータがロックするとステアリング操作が不能となるので、充分な保護、フェールセーフを設けている。励磁コイルに対しても樹脂で固めるなど機械的強度や電気的絶縁の補強を施しており、波巻にしても信頼性の低下はない構造になっている。

【0070】以上、矩形波駆動での電動式パワーステアリング装置の実施例を説明したが、電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータを正弦波駆動で制御する場合もある。正弦波駆動でもブラシレスモータのインダクタンスが大きいと、励磁電流の立ち上がりが遅れるため各相の電流のバランスが崩れ、トルクリップルの原因となる。したがって、正弦波駆動の電動式パワーステアリング装置に上述の実施例を適用しても、上述の実施例と同様の作用及び効果がある。

【0071】本発明のブラシレスモータはコイルをステータコアの外周側から巻回するようにしているので、コイルをスロットに押し込まずに巻線ができるので、コイルに傷が付くこともなく、コイルによるモータショート

が起きない。また、ステータの内周面にスロット開口による凹凸がないので、ステータとロータとの間の隙間が全周に亘って等しい。そのため、モータ内に異物が入ったとしても、その異物がステータとロータの間に挟み込まれることがなく、モータがロックされることはない。このように、簡易な構成でモータの信頼性が著しく向上し、リレーやクラッチがなくても十分な安全性を確保できる利点がある。

【0072】本発明は、コラム式及びピニオン式電動パワーステアリング装置のブラシレスモータに適用できることは勿論、ラックアシスト式電動パワーステアリング装置のブラシレスモータにも適用可能である。

【0073】以下に、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

【0074】本発明のブラシレスモータ120は、上述の実施例における図1に示す電動パワーステアリング装置において、その動力源としてブラシレスモータ12の代わりに適用する。ステアリングホイール1に作用されたドライバの操舵力は、入力軸2a及び出力軸2bで構成されるステアリングシャフト2に伝達される。入力軸2aの一端はステアリングホイール1に連結され、他端はトルクセンサ3を介して出力軸2bの一端に連結されている。そして、出力軸2bに伝達された操舵力は、ユニバーサルジョイント4及び6を介してピニオンシャフト7に伝達される。操舵力は、更にステアリングギア8を介してタイロッド9に伝達され、転舵輪を転舵させる。ステアリングギア8は、ピニオン8a及びラック8bを有するラックアンドピニオン型で構成され、ピニオン8aに伝達された回転運動をラック8bで直進運動に変換している。

【0075】ステアリングシャフト2の出力軸2bには、補助操舵力（アシスト力）を出力軸2bに伝達する減速ギア10が連結されており、減速ギア10には補助操舵力を発生するブラシレスモータ120が連結されている。トルクセンサ3は入力軸2aに伝達された操舵トルクを検出するものであり、例えば操舵トルクを入力軸2a及び出力軸2b間に介挿されたトーションバーの捩れ角変位に変換し、この捩れ角変位をポテンショメータで検出するように構成され、ドライバがステアリングホイール1を操舵することによって、ステアリングシャフト2に生じる捩れの大きさと方向に応じたアナログ電圧のトルク検出信号TVを出力する。そして、トルクセンサ3は、例えばステアリングホイール1が中立状態にある場合には、所定の中立電圧V0をトルク検出信号TVとして出力し、この位置よりステアリングホイール1を右切りすると、その操舵トルクに応じて中立電圧V0より増加する電圧を、左切りするとその操舵トルクに応じて中立電圧V0より減少する電圧を出力するようになっている。

【0076】CPU等で成るコントローラ13はブラシ

レスモータ120を駆動制御し、操舵系への操舵補助力の制御を行うユニットであり、車載バッテリー16から電源供給されることによって作動するようになっている。バッテリー16の負極は接地され、その正極はエンジン始動を行うイグニションスイッチ14及びヒューズ15aを介してコントローラ13に接続されると共に、ヒューズ15bを介してコントローラ13に直接接続されており、ヒューズ15bを介して供給される電源は、例えばメモリバックアップ用に使用される。そして、コントローラ13は、トルクセンサ3からのトルク検出信号TVと、例えば変速機の出力軸に配設された車速センサ17からの車速検出信号VPとに基づいてブラシレスモータ120を駆動制御する。

【0077】次に、本発明に係るブラシレスモータ120の第4の実施例を図13に示して説明する。即ち、図13はブラシレスモータ120のステータコアの断面構造を示しており、ステータコアは円環状のヨーク部分121と、多数の巻線用凹部（スロット）を具備した放射状の隔壁で成るティース部分122とで構成されており、ティース部分122は内周側の結合部122aで隣接したティース同士を結合した一体構造となっている。つまり、ティース部分122のスロット開口部は外周側に形成されている。また、ヨーク部分121とティース部分122とは脱着可能（嵌着）になっており、ティース部分122はヨーク部分121の内周に嵌着される構造となっている。

【0078】図13のステータコアを用いて、ブラシレスモータ120として組立てた例を図13に対応させて図14に示す。まずティース部分122で成るステータコアを多数枚積層して円筒状の積層体を形成し、その積層体のティース部分122の各スロット123に外周側からコイル124を巻回し、ティース部分122に巻線をした後に、多数枚を積層した円筒状のヨーク部分121（コア）にティース部分122を嵌着して固定している。その際、スロット123の表面は、粉体塗装125により絶縁を施している。この絶縁は、絶縁紙等の他の絶縁方法でも良い。ヨーク部分121の外周はモータハウジング126となっており、ティース部分122の中心部にはマグネット127を層設されたロータ128が配設されている。マグネット127はリング型マグネットを使用しており、ロータ128の外周はほぼ真円になっている。

【0079】このように本発明のブラシレスモータ120では、コイル124をティース部分122の外径側から直接スロット123に巻回するようにしているので、コイル124をスロット123に押し込む必要がない。このため、コイルには過大な力や局部的な力が加わることがなく、コイル124に傷が付くことがない。また、一体構造のティース部分122の内周面122bには凹凸がなく、ほぼ真円になっている。一体構造のティース

部分 122 の内側をロータ 128 が回転するが、ロータ 128 の外周 (マグネット 127) はほぼ真円になっており、ステータ (ティース部分 122 の内周面 122b) とロータ 128 の間の隙間は全周にわたってほぼ等しい。従って、万が一、モータ内に異物が入ってもステータとロータの間に引っかかる所がないので、異物が挟み込まれてモータが回転不能になることはない。ロータ 128 のマグネット表面に補強のカバーを付けても、同様に作用する。

【0080】上記ブラシレスモータ 120 の磁気回路は、マグネット 127 のある磁極から隙間を介してティース部分 122 →ヨーク部分 121 →ティース部分 122 を通り、再度隙間を介してマグネット 127 の対磁極に戻る主磁路の他に、ティース部分 122 内径の結合部 122a を通る短絡磁路が形成されている。しかしながら、電動パワーステアリング装置用のモータでは、この短絡磁路による性能劣化は 2% 以下でほとんど影響はない。スロット開口部の広い外周側からコイルを巻回するので、スロットの巻線占積率が上げられ、10% 以上の性能向上ができる。

【0081】次に、本発明に係るブラシレスモータの第 5 の実施例を図 13 に対応させて図 15 に示すが、本実施例ではティース部分 122 の外径側に設けたスロット開口部に、円周方向 (両方向) に突出した鍔部 122c を設けている。この鍔部 122c はコイル 124 を巻回する時にコイル線をバラけ難くし、また、ヨーク部分 121 にティース部分 122 を嵌着するときにコイル 124 が接触するのを防ぐ作用をする。更に、ティース部分 122 とヨーク部分 121 の接触面を大きくすることで嵌着動作を安定させ、磁路を確保するためにも有効である。図 15 のステータコアを用いたブラシレスモータ 120A の径方向断面図を、図 14 に対応させて図 16 に示す。

【0082】更に、本発明に係るブラシレスモータの第 6 の実施例を図 17 に示す。本例では、上記第 5 の実施例のティース部分 122 に巻線 124 をしているが、ヨーク部分は積層コアではなく、プレス成形したヨーク 121a でモータの外箱 (ハウジング) を構成している。コイル 124 を巻回したティース部分 122 を円筒状のヨーク 121a に嵌着させると共に、ロータ 128 を組み込んでブラシレスモータを構成している。この場合、従来のモータの外箱よりヨーク 121a を厚くするなどの磁気的な配慮が必要になるが、ヨーク専用部材が不要となるため、モータを小型化、低コスト化することができる。

【0083】同様にヨーク部分を積層コアではなく、電動パワーステアリング装置のハウジング 121b をヨークとした第 7 の実施例を図 18 に示す。本例では、ロータの軸は中空シャフト 140 となっており、その中空シャフト 140 の内側にラック 141 を同軸に配置してい

る。本例では、ラック 141 のハウジングがモータのハウジングを兼ねており、ヨーク部分としても機能している。

【0084】本発明のモータは、それぞれのコイルにおけるコイルエンドの引出し位置の一端が、隣接する他相のコイルエンドに対してステータの内周側に配置され、当該コイルエンドの引出し位置の他端が、隣接する他相のコイルエンドに対してステータの外周側に配置され、全ての励磁コイルの傾斜が均一になると共に、コイルエンド側から見た場合の長さも同一に配置することができるので、各相のインダクタンスを均等にすることができ、電流変動やトルクリップルを小さくすることができる。

【0085】そこで、本発明のモータを電動式パワーステアリング装置のアシスト駆動源として用いることにより、従来のものよりも滑らかなステアリング操舵感を得ることができる電動式パワーステアリング装置を実現することができる。

【0086】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図 20 は本発明の第 8 の実施例に係る 3 相ブラシレスモータの軸方向から見た断面構造図であり、図 21 はその巻線展開図である。すなわち、図 20 はステータを軸方向から見た図であり、1つの励磁コイルと他の励磁コイルとの渡り部分であるコイルエンド 301 の引廻しを示すものである。

【0087】1つのコイルエンド 301 の引出し位置である両端部 A 及び B において、一方の端部 A が隣接した他相のコイルエンド 301a に対してスロット 302 の外周側 O に、他方の端部 B が隣接した他相のコイルエンド 301b に対して内周側 I になるように、励磁コイルを巻いている。全体でみると、全てのコイルエンド 301 がスロット 302 の外周側 O から内周側 I へと斜めに巻線されて、配置されるように構成されている。すなわち、本ブラシレスモータでは、ステータコア 304 のスロット 302 に多相の励磁コイルを波巻で巻いており、それぞれの励磁コイルにおけるコイルエンド 301 の引出し位置の一端 (端部 A) が、隣接する他相のコイルエンド 301a に対してステータコア 304 の外周側 O に配置され、コイルエンド 301 の引出し位置の他端 (端部 B) が、隣接する他相のコイルエンド 301b に対してステータの内周側 I に配置されている。

【0088】一方、励磁コイルの巻き方は図 2 で示す巻線展開図に示すように、励磁コイル 326 の 1 つ (U 相) の巻線はスロット 302a を通り、コイルエンド 311 を經由して相数分の溝ピッチだけ離れたスロット 302b を通ってティース 303 を往復した後、コイルエンド 312 を經由して同ピッチで次のスロット 302c を通るように順次巻いていき、ステータを 1 周して元のスロット 302a に戻るように巻いている。その次に、更に同じ軌跡を通り、同様にステータを 1 周して元のス

ロット 302a に励磁コイル 326 の線を戻す。このような巻線を繰り返して、励磁コイル 326 の導体数を所定のターン数にしている。

【0089】このように巻くことで、各相の励磁コイル 326 は、スロット 302 内の外周側 O と内周側 I に交互に一部が重畳して配設される。全ての相の励磁コイル 326 が同様の傾斜をもって、また、コイルエンド 301 の長さも等しく配設されるので、スロット 302 内の磁束の通りにバラツキがあっても、相内でそのバラツキが打ち消し合われ、相間のインダクタンスが等しくなる。

【0090】励磁コイル 326 は 1 本の線材を巻いたものでも良いし、数本の線材を束ねたものでよい。本ブラシレスモータでは、図 21 に示すように励磁コイル 326 をループ状に成形していないので、当該モータのインダクタンスに影響する励磁コイルのターン数は 0 であり、本ブラシレスモータの自己インダクタンスは極めて小さい。また、本ブラシレスモータでは、従来の重ね巻と同じ導体数にしているため、励磁コイルの電気抵抗は重ね巻とほぼ同じであり、インダクタンスだけを小さく

【0091】図 22 は本発明の第 8 の実施例に係るブラシレスモータ 320 の構成を示す断面図であり、ブラシレスモータ 320 は、円筒形のハウジング 322 と、このハウジング 322 の軸心に沿って配設され、軸受 323a 及び 323b によって回転自在の回転軸 324 に固定された永久磁石 325 と、この永久磁石 325 を包囲するようにハウジング 322 内周面に固定され、且つ、3 相の励磁コイル 326a、326b 及び 326c が巻回されたステータ 321 とから構成されており、回転軸 324 及び永久磁石 325 によってロータ 327 が形成されている。

【0092】一方、ロータ 327 を構成する永久磁石 325 は、例えば S 極及び N 極がそれぞれ 3 極ずつ、計 6 極が周方向に等間隔に着磁されている。ここで、この場合には S 極及び N 極が 3 極ずつ、計 6 極に着磁された永久磁石 325 を適用しているが、S 極及び N 極が周方向に交互に且つ等間隔に着磁されているならば、S 極及び N 極の 2 極でも良く、また、複数極でもよい。

【0093】例えば、図 20 及び図 21 に示すように巻いたブラシレスモータの 1 相当りのインダクタンスは $80 \mu\text{H}$ 以下、抵抗は 0.05 オーム 程度であるので、電気時間定数 τ は、 $\tau = L/R = 80 \mu\text{H} / 0.05 \text{ オーム} = 1.6 \text{ ミリ秒}$ 以下になる。

【0094】本ブラシレスモータは 3 相 6 極であるので、1 回転に 18 回の転流があり（3 相 \times 6 極 = 18）、このモータを 1000 rpm で回転させると 3.3 ミリ秒に 1 回転流する（ $1 / \{ (1000 / 60) \times 18 \} = 0.0033$ ）。このことにより、本ブラシレスモータは、高速で回転しているときでも転流期間（約

3 ミリ秒）よりも電気的時間定数 τ （1.6 ミリ秒）が小さく、励磁電流を充分安定して流すことができる。

【0095】上述の実施例では 3 相 6 極のブラシレスモータについて説明したが、本発明に係るモータは 3 相に限定されるものではなく、また、極数も 6 極に限定されるものではない。図 23 の巻線展開図で示すような、5 相 4 極のブラシレスモータでも、上述の実施例と同様の作用及び効果がある。

【0096】上述のようにコイルをステータに巻線する方法としては、例えばステータコア 304 に直接巻かずに、全ての相の励磁コイル 326 を波巻状に形成した後に、その形成した励磁コイル 326 をステータコア 304 のスロット 302 に挿入する方法を用いる。ここで、予め巻線機側の治具に、各相の励磁コイル 326 を波巻状に所定のターン数だけ巻き、励磁コイル 326 を仮成形する。この仮成形したコイルを、ステータ 304 のスロット 302 に順次又は同時に挿入して、成形する。

【0097】この励磁コイル 326 は、複数本のマグネットワイヤを束ね、それを成形したコイルであっても、1 本のマグネットワイヤを成形したコイルでもよい。なお、図 20 においては、配置が分かり易いように、モデル化してコイルエンド 301 を示している。

【0098】励磁コイルを波巻で巻いたモータは、重ね巻きのモータに比べて、元来インダクタンスが小さいので、相間においてインダクタンスがアンバランスであると、そのアンバランスが大きく作用して、大きな電流変動及び大きなトルクリップルが生じるという悪影響がでる。しかしながら、本実施例のブラシレスモータにおいては、図 20 に示すように各励磁コイルのコイルエンド 301 の引出し位置が、全ての相に等しく配置されているので、スロット 302 内における磁束の通りにバラツキがあっても、相内でそのバラツキを打ち消し合い、相間のインダクタンスを等しくする。

【0099】これにより、本実施例のブラシレスモータによれば、従来の波巻のブラシレスモータと比較して、相間におけるインダクタンスを極めてバランスの良いものにすることができ、電流変動及びトルクリップルを大幅に低減することができる。

【0100】図 24 は、本発明に係るブラシレスモータの各相の励磁コイルの配置についての第 9 の実施例を示す断面構造図である。

【0101】本実施例のブラシレスモータでは、スロット開口部 352a がステータ内周側 I ではなく、外周側 O（ステータのヨーク部分 356 側）に設けられている。つまり、ステータをティース部分（コア）353 とヨーク部分（コア）356 とに分割した構造のモータである。この構成によれば、スロット 352 の外周側から励磁コイルを挿入して巻くことができる。そして、励磁コイルの巻線が終了した後に、ティース部分 353 とヨーク部分 356 とを嵌着する。なお、351 はコイルエ

ンドを示しており、一端部Aが外周側Oに、他端部Bが内周側Iに位置するように巻回されている。

【0102】図25は、本発明に係るブラシレスモータの各相の励磁コイルの配置についての第10の実施例を示す断面構造図である。

【0103】本実施例のブラシレスモータは、図23の巻線展開図に示す5相4極のモータの例である。本実施例においても、図20及び図24に示すブラシレスモータと同様に、各コイルエンド361の引出し位置である端部A、B（スロット362における径方向の位置）は、一方の端部Aが他相のコイルエンド361aに対してスロット362の外周側Oに、他方の端部Bが他相のコイルエンド361bに対して内周側Iになるように、各励磁コイル326が巻かれている。

【0104】図24及び図25に示すブラシレスモータの各励磁コイルも、図20の場合と同様に全て均一な長さ及び傾斜となるようにコイルエンドの引出し位置が配置されているので、図20に示すブラシレスモータと同様に、スロット内における磁束の通りにバラツキがあっても、相内でそのバラツキが打ち消され、相間のインダクタンスを等しくする。これにより、従来の波巻のブラシレスモータと比較して、相間におけるインダクタンスを極めてバランスの良いものにすることができ、電流変動及びトルクリップルを大幅に低減することができる。

【0105】なお、上述の実施例では、3相及び5相のモータを実施例としたが、本発明に係るモータは、これに限定されるものではなく、他の任意の相数のモータに適用することができる。また、上述の実施例では、ブラシレスモータを実施例としたが、本発明に係るモータは、これに限定されるものではなく、ブラシレスモータ以外の他の種類のモータにも適用することができる。

【0106】これらにより、本発明のモータは電流変動及びトルクリップルが大幅に低減されているので、本発明のモータを電動式パワーステアリング装置のアシスト駆動源として用ることによって、従来のものよりも滑らかなステアリング操舵感を得ることができる電動式パワーステアリング装置を実現することができる。

【0107】第11の実施例は、ステータコアのスロットに、多相のコイルを、上述の第1の実施例で参照した図6に示すように波巻で巻いたブラシレスモータにおいて、上述の第4の実施例で参照した図13、図14に示すように、ステータコアが、ティースの内周側を隣接したティース同士で結合され外周側に開口部を持ったティース部分122と、ティース部分122の外周側で磁路を形成するヨーク部分121とで構成され、ティース部分122の外周側から巻線をした後にヨーク部分121を固着した構成のブラシレスモータとする。

【0108】すなわち、第11の実施例のブラシレスモータは、前述の第1の実施例で示したようにコイルを波巻で形成し、かつ、第4の実施例で示したようにステ

タコアがティースの内周側を隣接したティース同士で結合され外周側に開口部を持ったティース部分122（以下、「分割コア」という。）を有するブラシレスモータである。

【0109】これらにより、第11の実施例のブラシレスモータは、コイルを波巻としたので、ブラシレスモータのインダクタンスを小さくすることができ、ブラシレスモータが低速回転であるか高速回転であるかに拘わらず安定した所望の出力トルクを得ることができると共に、ブラシレスモータを高速で回転させたときにおいても、トルクリップルを大幅に抑制することができ、電磁音、磁歪音及び作動音も低減することができ、滑らかなステアリング操舵感を得ることができる電動式パワーステアリング装置を提供することができる。

【0110】さらに、第11の実施例のブラシレスモータは、ステータコアを「分割コア」としたので、コイル巻回時にコイルを傷つけることがなく、ティース部分122とロータ128との間の隙間が均一であり、モータショートやロックに対する信頼性が著しく向上する。また、巻線を外側から巻回するので巻線が簡単にでき、生産性が向上すると共に、占積率が向上し、波巻のような複雑な巻線も簡単にできる。ティース部分122の内周に凹凸がないのでゴギングトルクが小さく、電動パワーステアリング装置に利用した場合には、さらに滑らかなステアリング操舵感を得ることができる。更に、ヨーク部分121をモータ又はモータを含む電動パワーステアリング装置の外箱（モータハウジング126）にすることで、モータを小型化できると共に、低コスト化を実現することができる。

【0111】第12の実施例は、前述の第11の実施例のブラシレスモータにおいて、さらに、図20に示すように、各コイルのコイルエンド301の引出し位置の一端が、隣接する他相のコイルエンド301bに対して、前記ステータコアの内周側Iに配置され、前記各コイルのコイルエンド301の引出し位置の他端が、隣接する他相のコイルエンド301aに対して前記ステータコアの外周側Oに配置されている（以下、「整列巻」という。）構成を有するブラシレスモータである。

【0112】すなわち、第12の実施例のブラシレスモータは、第11の実施例と第8の実施例とを組み合わせたものであり、コイルが波巻でかつ「整列巻」で形成されていると共に、ステータコアを「分割コア」としたものである。

【0113】これらにより、第12の実施例のブラシレスモータは、前述の第12の実施例のブラシレスモータが備える効果を有すると共に、コイルの各相のインダクタンスを均等にすることができ、電流変動及びトルクリップルのさらなる削減をすることができる。

【0114】第13の実施例は、前述の第11の実施例のブラシレスモータ又は第12の実施例のブラシレスモ

10

20

30

40

50

ータを、自動車の操舵力を低減させるパワーステアリング装置におけるアシスト駆動源として用いるものである。

【0115】これらにより、第13の実施例のブラシレスモータは、操舵係を低速に回転させたときでも高速に回転させたときでも、より滑らかなステアリング操舵感を得ることができ、電磁音、磁歪音及び作動音も低減することができ、小型化できると共に、低コスト化できる電動式パワーステアリング装置を実現することができる。

【0116】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、アシスト駆動源となるブラシレスモータにおいて、多相の励磁コイルを、極毎にループを成形しない波巻で巻いたので、ブラシレスモータのインダクタンスを小さくすることができ、ブラシレスモータが低速回転であるか高速回転であるかに拘わらず安定した所望の出力トルクを得ることができると共に、ブラシレスモータを高速で回転させたときにおいても、トルクリップルを大幅に抑制することができ、電磁音、磁歪音及び作動音も低減することができ、滑らかなステアリング操舵感を得ることができる電動式パワーステアリング装置を提供することができる。

【0117】また、本発明のブラシレスモータによれば、コイル巻回時にコイルを傷つけることがなく、ティース部分とロータとの間の隙間が均一であり、モータショートやロックに対する信頼性が著しく向上する。また、巻線を外側から巻回するので巻線が簡単にでき、生産性が向上すると共に、占積率が向上し、波巻のような複雑な巻線も簡単にできる。ティース部分の内周に凹凸がないのでコギングトルクが小さく、電動パワーステアリング装置に利用した場合には、滑らかなステアリング操舵感を得ることができる。更に、ヨーク部分をモータ又はモータを含む電動パワーステアリング装置の外箱にすることで、モータを小型化できると共に、低コスト化を実現することができる。

【0118】また、本発明によれば、それぞれのコイルにおけるコイルエンドの引出し位置の一端が、隣接する他相のコイルエンドに対してステータの内周側に配置され、当該コイルエンドの引出し位置の他端が、隣接する他相のコイルエンドに対してステータの外周側に配置され、全ての励磁コイルの傾斜が均一になると共に、コイルエンド側から見た場合の長さも同一に配置することができるので、各相のインダクタンスを均等にすることができ、電流変動やトルクリップルが小さいブラシレスモータを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例に係る電動式パワーステアリング装置（コラムタイプ）の概略構成図である。

【図2】本発明の実施例に係る電動式パワーステアリン

グ装置のブラシレスモータの構成（コラムタイプ）を示す断面図である。

【図3】本発明の実施例に係る電動式パワーステアリング装置の他の構成（ラック同軸タイプ）を示す断面図である。

【図4】図1におけるコントローラの構成を示すブロック図である

【図5】励磁電流の波形図である。

【図6】本発明の第1の実施例に係る電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータの巻線展開図である。

【図7】本発明の第2の実施例に係る電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータの巻線展開図である。

【図8】本発明の第3の実施例に係る電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータの巻線展開図である。

【図9】本発明の実施例に係る電動式パワーステアリング装置用ブラシレスモータの励磁電流の転流時における状態を示す波形図である。

【図10】従来の電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータの巻線展開図である。

【図11】他の従来の電動式パワーステアリング装置用のブラシレスモータの巻線展開図である。

【図12】従来の電動式パワーステアリング装置用ブラシレスモータの励磁電流の転流時における状態を示す波形図である。

【図13】本発明に係るブラシレスモータの第4の実施例を示すステータコアの構造図である。

【図14】本発明に係るブラシレスモータの第4の実施例を示す径方向断面構造図である。

【図15】本発明に係るブラシレスモータの第5の実施例を示すステータコアの構造図である。

【図16】本発明に係るブラシレスモータの第5の実施例を示す径方向断面構造図である。

【図17】本発明に係るブラシレスモータの第6の実施例を示す軸方向断面構造図である。

【図18】本発明に係るブラシレスモータの第7の実施例を示す軸方向断面構造図である。

【図19】従来のブラシレスモータのステータコアの構造図である。

【図20】本発明に係るブラシレスモータの各相の励磁コイルの配置についての第8の実施例を示す断面構造図である。

【図21】本発明の第8の実施例に係る3相ブラシレスモータの巻線展開図である。

【図22】本発明の実施例に係るブラシレスモータの構成を示す断面図である。

【図23】本発明の実施例に係る5相ブラシレスモータの巻線展開図である。

【図 2 4】本発明に係るブラシレスモータの各相の励磁コイルの配置についての第 9 の実施例を示す断面構造図である。

【図 2 5】本発明に係るブラシレスモータの各相の励磁コイルの配置についての第 10 の実施例を示す断面構造図である。

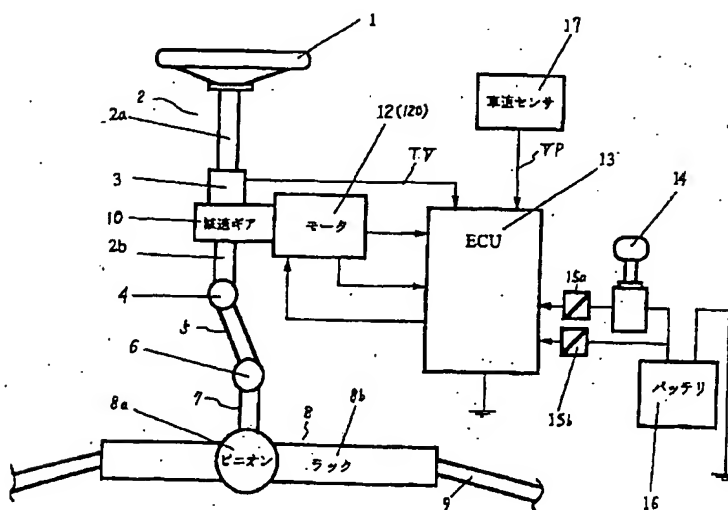
【図 2 6】従来のブラシレスモータの各相の励磁コイルの配置についての一例を示す断面構造図である。

【符号の説明】

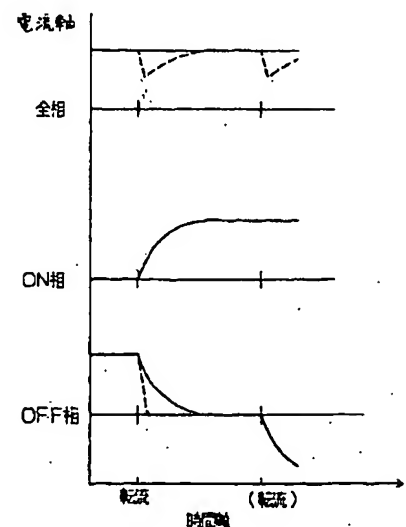
- 1 ステアリングホイール
- 2 ステアリングシャフト
- 3 トルクセンサ
- 4 ユニバーサルジョイント
- 5 ロアシャフト
- 6 ユニバーサルジョイント
- 7 ビニオンシャフト
- 8 ステアリングギヤ
- 9 タイロッド
- 10 減速ギヤ
- 12 ブラシレスモータ
- 13 コントローラ
- 14 イグニッションスイッチ
- 15 ヒューズ
- 16 バッテリ
- 17 車速センサ
- 22ハウジング
- 23 軸受
- 24 回転軸
- 25 永久磁石
- 26 励磁コイル
- 27 ロータ

- 70 ティース
- 120 ブラシレスモータ
- 121 ヨーク部分
- 122 ティース部分
- 123 スロット
- 124 コイル
- 125 粉体塗装
- 126 モータハウジング
- 127 マグネット
- 10 128 ロータ
- 301 コイルエンド
- 302 スロット
- 302 a スロット開口部
- 303 ティース
- 304 ステータコア
- 320 ブラシレスモータ
- 321 ステータ
- 322 ハウジング
- 323 軸受
- 20 324 回転軸
- 325 永久磁石
- 326 励磁コイル
- 327 ロータ
- 351 コイルエンド
- 352 スロット
- 352 a スロット開口部
- 353 ティース部分
- 356 ヨーク部分
- 361 コイルエンド
- 30 362 スロット

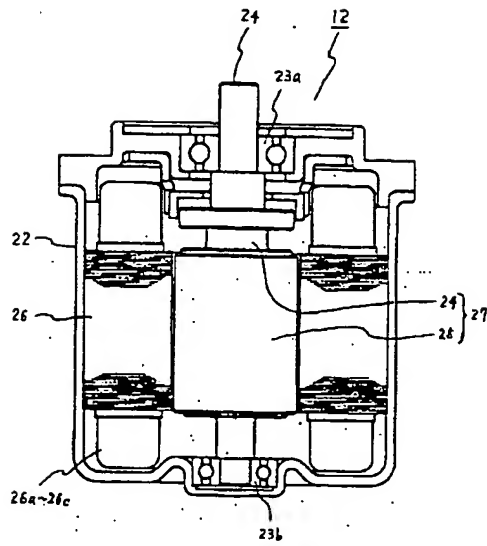
【図 1】



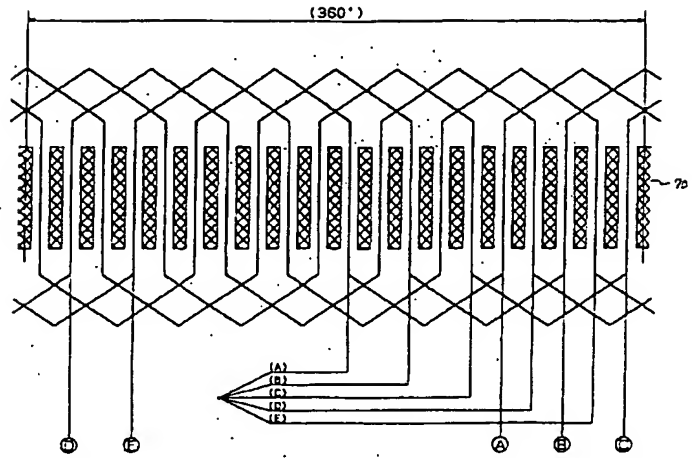
【図 9】



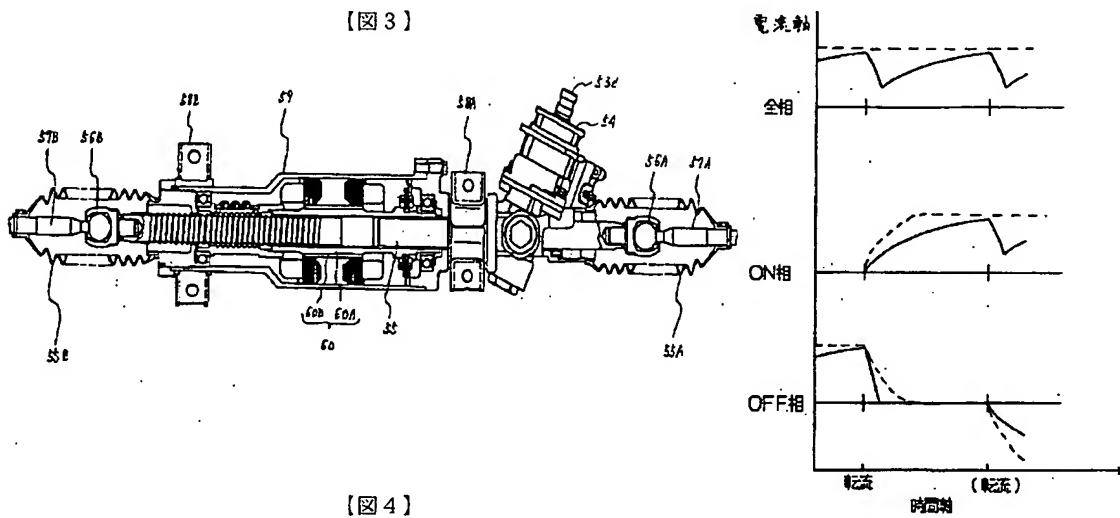
【図2】



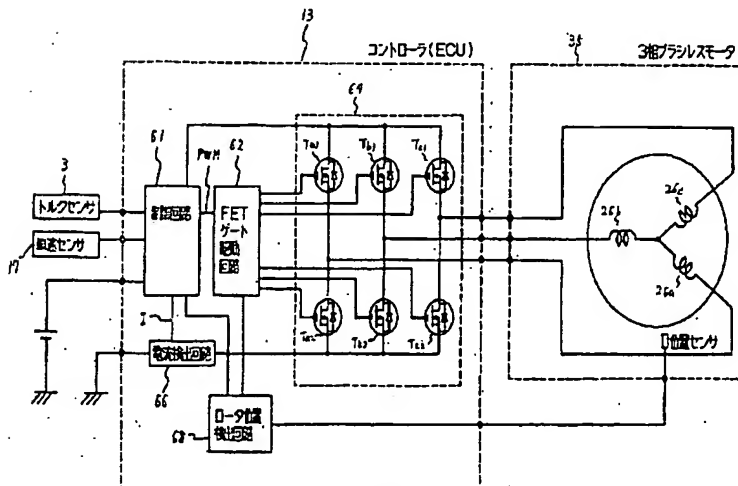
【図8】



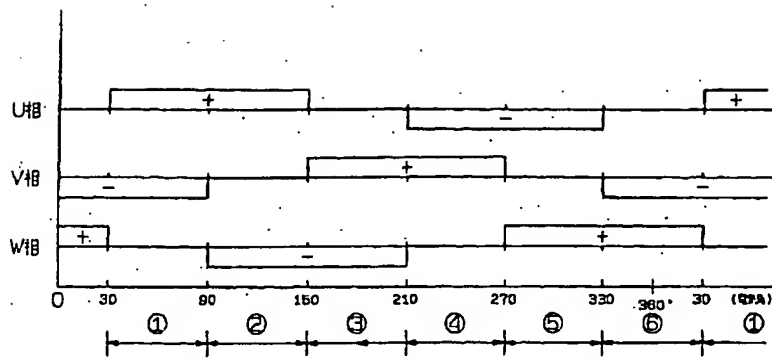
【図12】



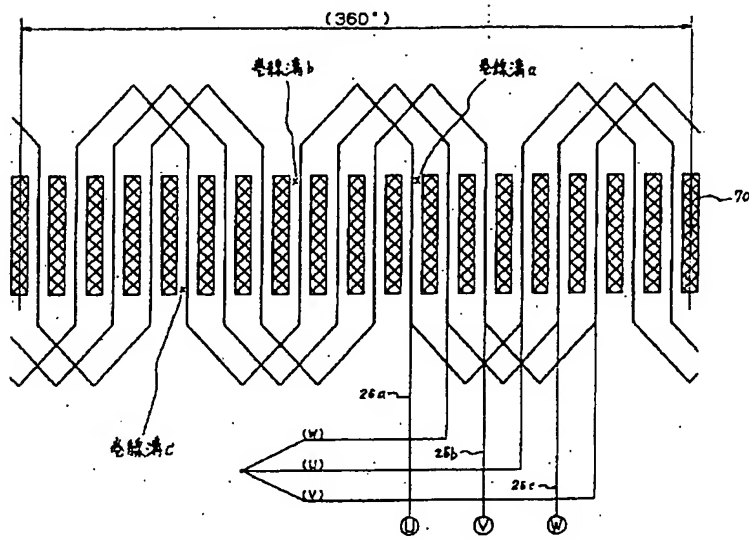
【図4】



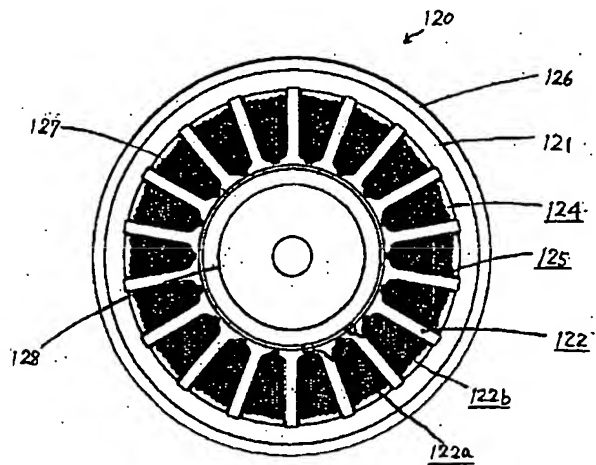
【図 5】



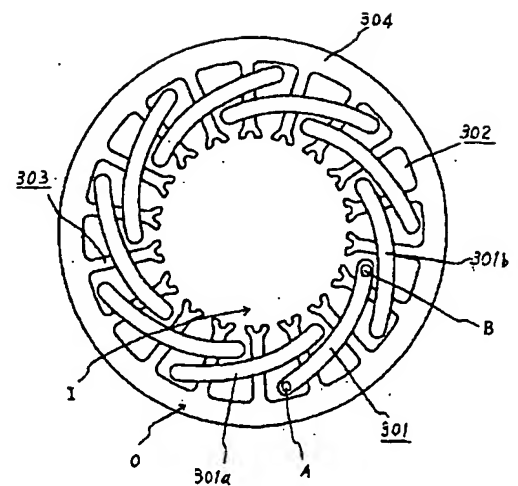
【図 6】



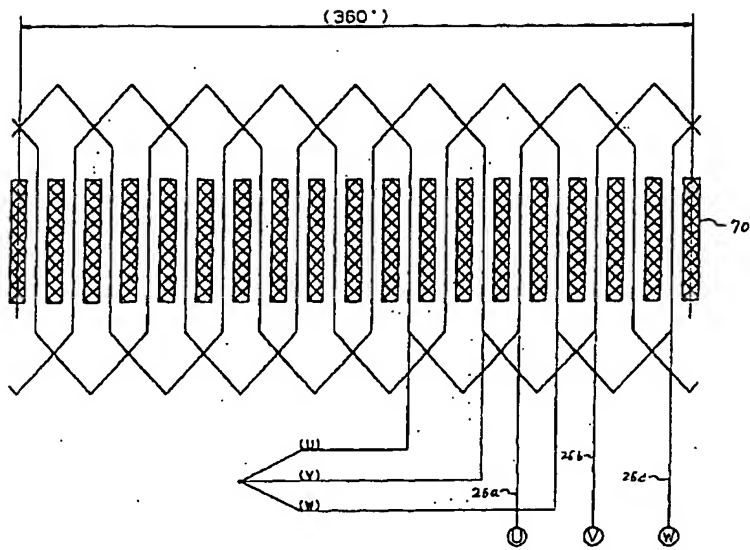
【図 14】



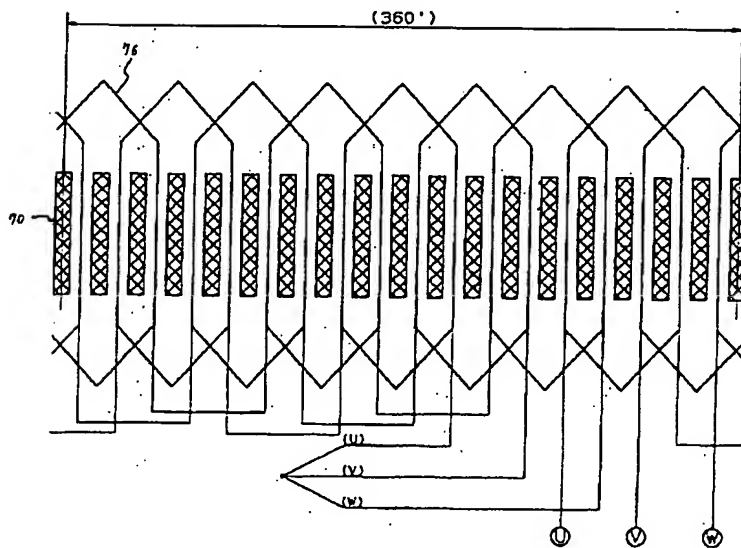
【図 20】



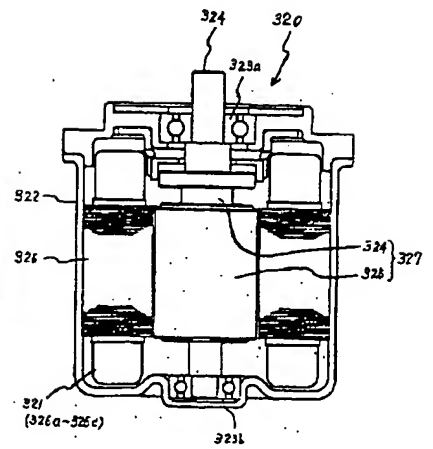
【図 7】



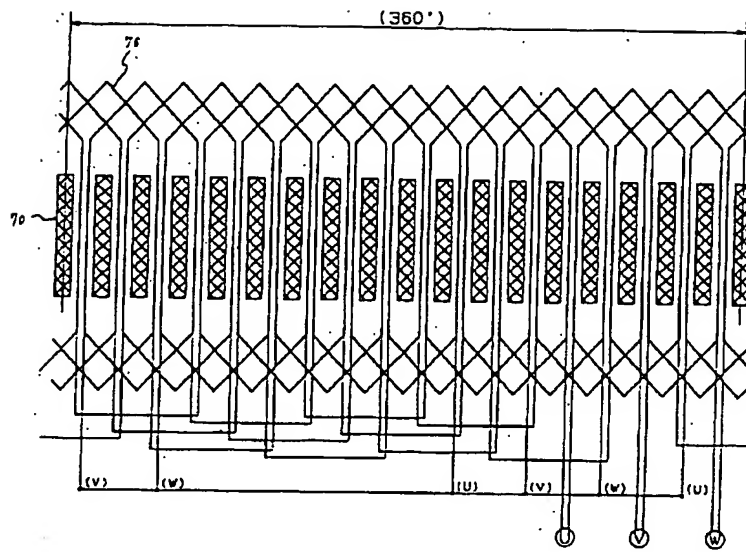
【図 10】



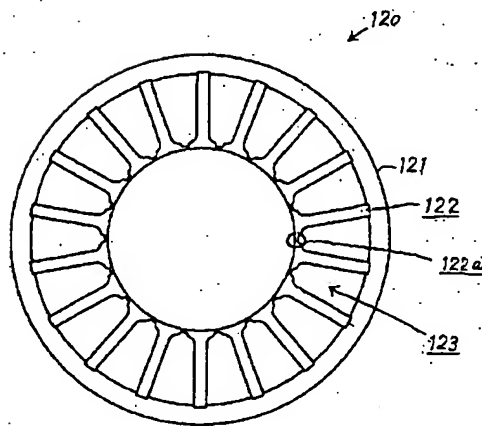
【図 22】



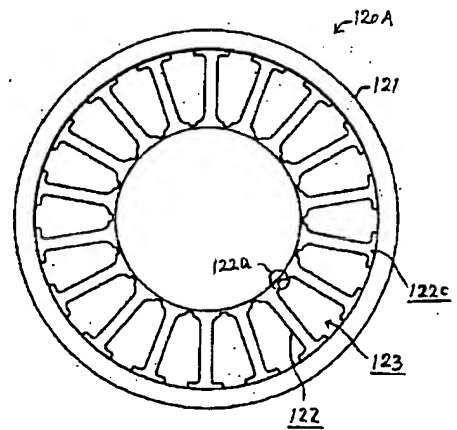
【図 11】



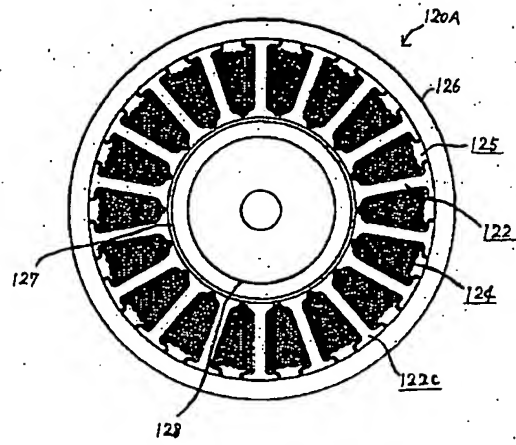
【図 13】



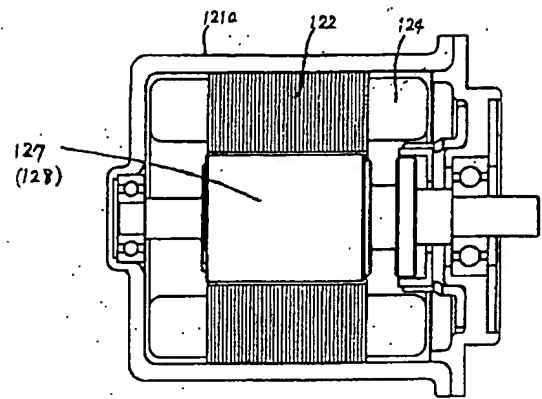
【図 15】



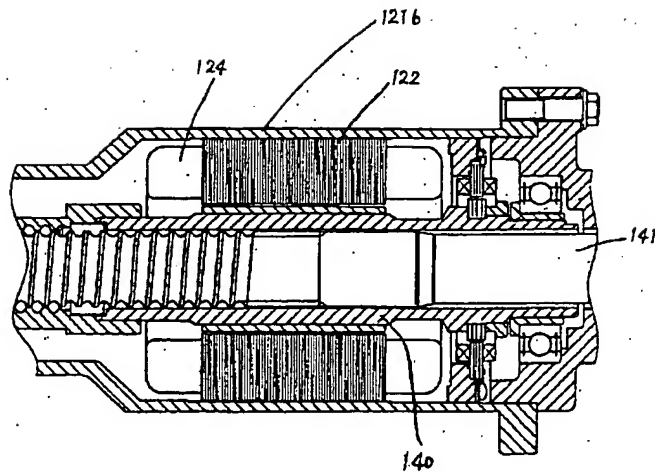
【図 16】



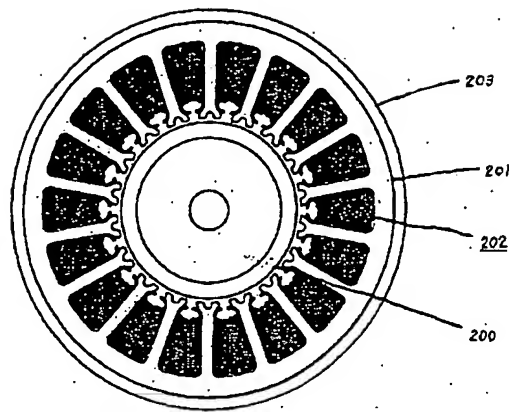
【図 17】



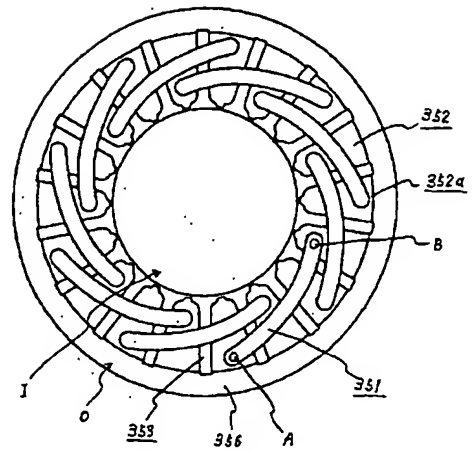
【図 18】



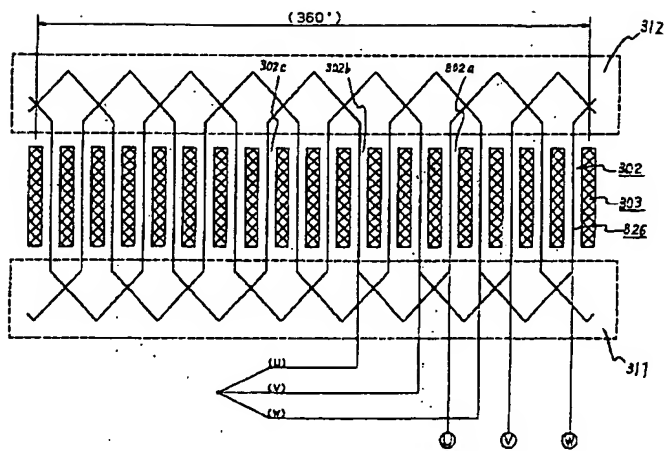
【図 19】



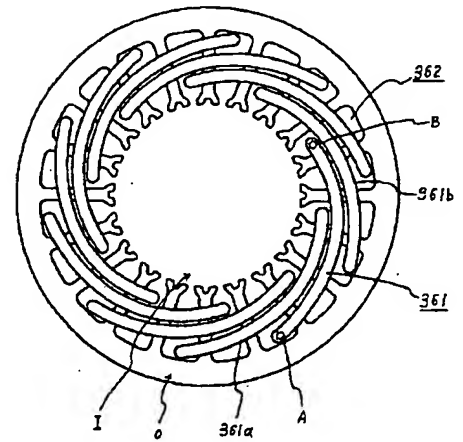
【図 24】



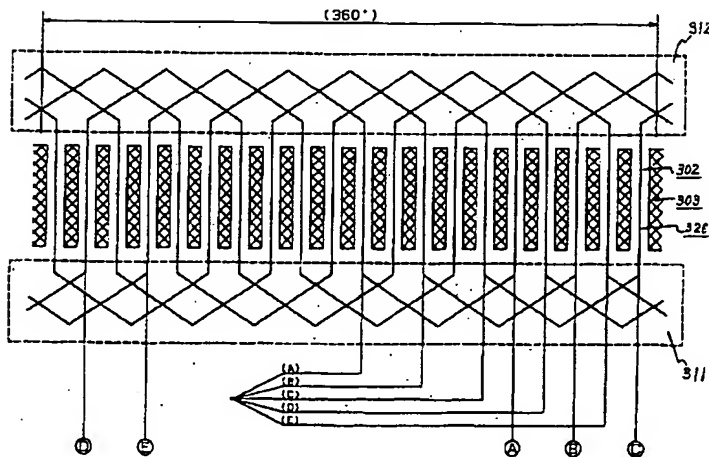
【図 21】



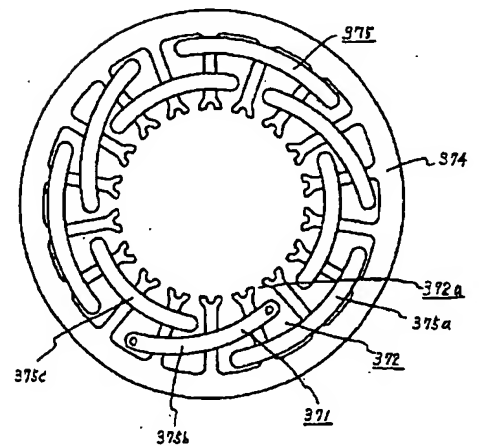
【図 25】



【図 23】



【図 26】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ¹	識別記号	F I	ターム (参考)		
H 0 2 K	7/06	H 0 2 K	7/06	A	5 H 6 0 3
	15/06		15/06		5 H 6 0 7
	21/16		21/16	M	5 H 6 1 5
H 0 2 P	6/10	B 6 2 D	101:00		5 H 6 2 1
// B 6 2 D	101:00		119:00		
	119:00		137:00		
	137:00	H 0 2 P	6/02	3 7 1 G	

F ターム (参考) 3D032 CC08 DA15 DA23 DA63 DA64
 DC01 DC02 DC03 DD10 EA01
 EB11 EC23 GG01
 3D033 CA03 CA13 CA16 CA20 CA21
 5H002 AA07 AB06 AB09 AC08
 5H019 AA03 AA07 BB01 CC03 DD01
 EE01 FF01 GG05
 5H560 AA10 BB04 BB07 BB12 DC12
 EB01 EC02 GG04 RR01 SS02
 TT12 TT15 UA05 XA02
 5H603 AA09 BB09 BB10 BB12 BB19
 CA01 CA05 CB03 CC11 CD06
 CD22 CE01 CE13
 5H607 AA12 BB07 BB09 BB14 DD04
 DD08 FF24
 5H615 AA01 BB07 BB14 BB17 PP14
 5H621 AA02 BB10 GA01 JK01 JK07
 JK13 JK15 JK17

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.